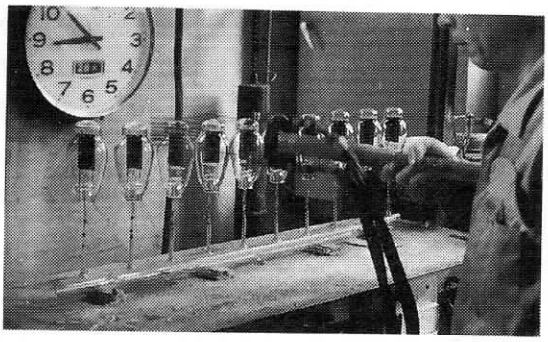
No. 2 真空管の電極処理

真空管製造学入門

小口貴仁 Oguchi Yoshihito



前回は真空管材料の準備から処理，組立，封止，ゲッターの作用までの概略を紹介しました．実際の作業は実はもっと大変なものでした．処理の部分だけでも，表面処理と内部処理に大別すると，加工電極やマイカなど，機械加工を経たものは脱脂が行われます．溶剤洗浄やアルカリ液洗浄，アルカリ液中で部品を陰極として電解し，強く発生する水素で除去を促進する電解洗浄など詳細に規定された作業標準によって行われます．

部品は加工中に熔接などによって加工されたり，電弧などによって酸化物が付着します．除去には，研磨，バフ磨き，サンドブラスト，ベイパーブラストなど機械的な除去や薬品で溶解・除去し，その後中和し充分な水洗を行う腐蝕除去など各々の部品によって最適な処理が施されます．

また酸化防止のために，鉄，銅にはニッケルメッキが施されます．電気伝導度改善には鉄に銀や銅を，グリッドエミッション防止にはモリブデン線に金メッキなどです．輻射を良くする処理としては，着炭，アルミクラッドの加熱による黒化やサンドブラストによる粗面化なども施されます．

内部処理については前回記述の水素処理や真空処理（プレグロ処理）が行われますが，水素処理では酸化物が酸素を放出して水素により還元されます．水素が置換されて金属材料内部に入っても，これは後ですぐに放出させられますので除去が容易です．

ただし水素中で高温に上げると吸収し化合物を作るタンタル，ジルコン，チタンなど，一般にゲッターに使うような金属材料は水素処理はできません．

フィラメントと陰極についても概略となりましたが，実際には電子放射をトリウムタングステンを使うか酸化物を使うかによっても異なります．傍熱タイプではタングステンフィラメントを折り曲げたりコイル状にし，アルミナ（Al_2O_2）の耐熱性絶縁物でコートし，ニッケルのパイプに入れ，パイプ外周に炭酸塩の混合物，炭酸バリウム（$BaCO_3$），炭酸ストロンチウム（$SrCO_3$）の混合物に時として炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を混ぜたものを噴霧吹付けます．

これを組み立て，排気操作中に心金属内フィラメントに通電，高熱分解し，電子放出のある傍熱管用陰極となります．これは直熱型では，心金属がパイプではなくニッケルリボンフィラメントである点を除けば同じです．以上が前回のポイントです．

1. 活性と枯化

どんな真空管でも陰極から電子（エレクトロン）が出なければ真空管として動作しません．陰極（カソードまたはフィラメント）からは多くの電子を長時間かつ安定に放出できるようにするのが活性枯化です．この活性枯化の方法がその真空管にとって適切でないと，それまで慎重に部品処理から作業が行われて来ても一瞬にして駄目にしてしまいます．また，いくら活性枯化に力を入れても，前工程で不具合やミスがあればエミッションが出なかったりします．真空管製造では何一つ間違ってもいけません．各作業が大小に関係なく関連しているのです．

活性枯化の方法いかんによってはプレート電流の変動やクリッド

エミッションの増大，電極間絶縁の悪化によるノイズの発生や他極とのショート以外，特に特性面に大きな変化を及ぼします．活性は陰極から充分なエミッションが出るようにするため，酸化物の表面に金属原子層を均一化させるのです（表面を絶縁物から半導体に変化させます）．

酸化物陰極では排気中にカソードを分解させると $BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$ となって BaO が残り，炭酸ガス CO_2 は排気されますが残った BaO だけでは，まだ充分エミッションを取り出すことはできません．そこでカソードを加熱し活性化することで $2BaO \rightleftarrows 2Ba + O_2$ の反応によって Ba が多くなります．このようにして遊離 Ba の存在量を増加させることが活性化なのです．

2. 活性化の方法（アクチベート）

活性化はその真空管に命を吹き込む重要な工程です．

(1) 熱活性

カソードを高温にするほど遊離バリウムの増加を促進させられるため，フィラメント電圧を定格の2～2.5倍の高い電圧で数分間温度上昇させます．

しかしあまり温度を高くすると，かえって結晶が粗大化して逆効果となったり，Ba や BaO の蒸発を促進して他の電極に悪影響を及ぼすことがあるので，温度と時間とは確かなデータによって管理しなければなりません．この方法は比較的電流の少ない直熱真空管で電池管などに行われました．

(2) 電流活性

カソードを高温にするとともに，エミッションを取り出して活性を行う方法です．同時に他の電極にも電気的負荷が掛かるので，エミッション増大だけではなくガス出しも兼ねることでさらに有利ですが，回路や設備が複雑になります．

方法は，グリッドまたはプレートに適当な電圧を掛けてエミッションを引っ張り出させるので，負荷や回路に抵抗の代わりにランプを入れると，電極のショートや異常の場合ランプが極端に明るくなるので異常発見に役立ちますし，活性化の進み具合を見ることもできます（**写真1と図1**）．MJ 1999年10月号 **HF-300B** 製造のカラページでは実際のようすを見ることができます．受信用の一般管はこの方法が用いられていました．

3. 枯化（エージング）

活性化によって命を与えられた真空管は使用中に特性が変化しないよう安定させる必要があります．特性を安定にさせるためには陰極以外の電極にも使用電圧またはそれ以外の電圧を印加して，ガスを出し充分ゲッターに吸わせて実際の使用に当たり充分枯らしておくことです．それぞれの真空管に適した方法が採用されます．

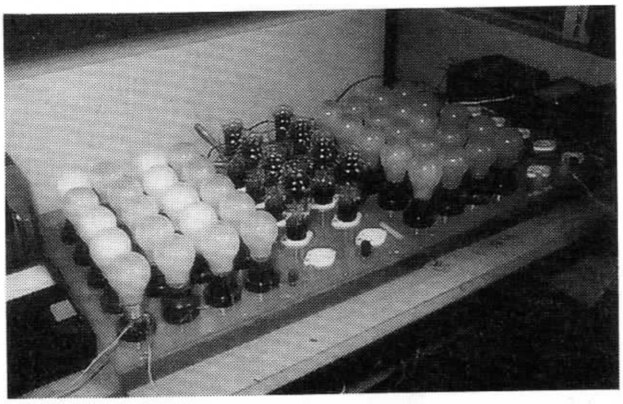
(1) 直流エージング

ヒーターは一般的に交流を用い，普通使用状態または特性検査条件で直流を用いてエージングを行う（**6AU6**，**1T4**，**1L4** などこの方法で数時間～10数時間）．

(2) 直流段階エージング

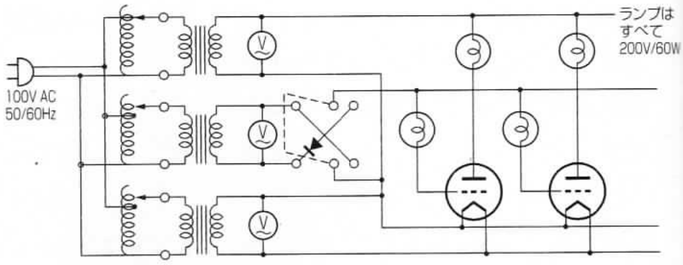
いきなり使用状態にすると電極からの発生ガスが多くなります．そのようなカソードの侵され程度がひどい構造の真空管に行われるエージングです．ヒーター電圧を高くしてカソードを高温にすることで，カソードが侵されにくい状態にして，他の電極にかける電圧を低いところから段々と正規の電圧まで高くして，ガス出しを一度にではなく少しずつ行いながらゲッターに吸収させる方法です．

この方法は操作が面倒で，段階程度を間違えると不良にしてしまう心配があります．陰極からグリ



抵抗の代わりに 60W/200V の電球を使う．エミッションが出ているものは明るく点灯を始めている．異常も発見しやすい

［写真1］ HF-300B の活性化・枯化



［図1］ HF-300B の活性化・枯化回路

ッド，プレートなどが接近している VHF 帯の RF 増幅双 3 極管など特別な真空管に行われます．

(3) 交流エージング

真空管の設計上また使用上からの要求で，特に電極に入るロスは少ないけれど，電圧は高く掛けたい場合に行う方法です．C 級増幅や発振などに使われる真空管に行われるエージング方法です．

(4) オシレーションエージング

一種の交流枯化と考えられます．特に発振によって直流枯化では焼けない所が焼け，そこからガスを出してしまうことになって，実用の状態で枯化を行う方法です．良く調整がとれた状態ではプレートに無理なく高い電圧がかかるようになっていますが，調整が悪かったり，何かの原因で調整がくずれるとプレート損失が増大して真空管を駄目にする結果となります(2B29，2B32，2C43 など)．

(5) パルスエージング

真空管の使用上高いパルス電圧をかけたり，大きな電流を取ったりすることで，脈動的にロスを入れる方法です．これは交流法よりさらに高い電圧がかかりますが，損失はそんなに入れられない場合に用いられる方法です．瞬時大電流をとり，比較的高い電圧で用いられる真空管のエミッションは，やはり瞬間のエミッションで規定されています．

4. 活性化・枯化時間の決定

活性化・枯化時間は次のように決められます．カソードの面積を計算し，ヒーター電圧に対するカソードの温度を概算します．時間とともにカソードのバリウムから放出される酸素によって BaO になって，カソード状態が変化してくると特性が変わるので，接触電位差（カソードとグリッドの電圧でグリッド側が負になる）をチェックして，エミッションの充分飽和したところでほぼ活性終了とします．

さらに厳密な検討を行うには真空管内部に直熱フィラメントを封じ込み，真空管の活性枯化中に出る酸素で直熱フィラメントのエミッションを調べながら活性枯化を行う方法があります．

直熱フィラメントが侵されなくなるまで，すなわちカソードから酸素が出なくなるまで行って，時間条件を決める方法もあります．枯化時間は略活性化の時と同じ考え方で進むのが普通です．

枯化中，時間を小区分に区切って，その時の特性をチェックしてエミッションと接触電位差の変化を調べて，これらの特性が安定してきたならば枯化を完了します．普通活性で15分～1時間くらい，枯化で6～24時間くらいかかります．

5. 格子の材料および構造

格子（グリッド）の材料として必要な条件は陽極とほぼ同様ですが，陽極よりも複雑な構造となるため，特に機械的に丈夫で同時に加工しやすいものが必要です．これに最も良く適合するものがモリブデンです．タングステンは加工することが困難ですが融解点が高く，高温度において機械的に丈夫なため，格子損失の大きな真空管に使われています．

グリッドの構造はプレートやカソードの形状に従い円筒形か平行板形かのいずれかの形となり，だいたい 2 本の支柱に巻き付けられます．支柱は高温度において機械的に強く，熱発散率と熱伝導度の大きなものが望ましいのです．小型のものではニッケルを，大型のものではモリブデンを使用します(**図 2**)．グリッドワイヤーを支柱に取り付けるために抵抗熔接によるか，カッターで溝を作って，線をこの中に入れ，線と線との間を再度カッターでたたいて押し広げるようにすると，線の入った隣りの溝が押しつぶされてグリッドワイヤーが固定されます．大型の機械施盤のような自動機で長いグリッドを作って，必要な長さに切って使います．

グリッドに対する電気的条件として最も大切なことは，グリッドより 2 次電子放出や熱電子放出のないことで，このためグリッドの表面に色々な処理を施すことがあります．

温度の上昇を防ぐために一端に冷却フィンを付けたり，熱発散率を高めるために，陽極の場合と同様に煤被覆を施したり，金メッキを施したりしてグリッドエミッション対策することもあります．また放熱効率を高めるため支柱に熱伝導度の良い銅を使ったりすることもあります．グリッド巻線のピッチは組立前にストレッチャーといって，型を入れてしっかり伸ばしてピッチ目をそろえて整形します(**写真 2**)．

6D6 や 6BD6 のような可変増幅率真空管はグリッドのピッチが中心部分で疎になっています．組立中にカソードが接触して，ワイヤ

Gm METER

MODEL SGM-19

SGM—19 Gm METER は附図に示す如き機構で，被測定管の各電極に，自由に電圧を変へられ，且つ電圧指示計上に直読出来る電源から規定の電圧を供給し正規の使用状態とし，CR発振器に依つて得た約5000サイクル 0.2ボルトをコントロールグリツトに印加しプレートに発生する電流変化を増巾した後整流器に依つて整流し可動線輪型大形メーター上に直読目盛にて被測定管のGm値を指示する様に成つて居ります。

又規定電圧以外の電圧に依る被測定管の動作状態も電源電圧が可変であり，且つ電圧を直読出来る為自由にそのGm値を求める事が出来ます

測定範囲もGm値の直読のみでなく，電極ショート試験，エミッション試験，陽極電流測定，サイラトロンの動作試験，同調指示管の動作試験，整流管の内部降下電圧測定等に使用出来る他約5000サイクルの低周波発振器として低周波機器の測定用電源としたり，電圧を可変出来る優秀なる直流及交流の電源としても使用出来ます。

仕　　様

電　　源　100V（電圧許容範囲 85～105V）50/60 ％

寸　　法　425×340×190％

重　　量　19.5kg

指 示 計　可動線輪型 {電圧指示用 300μA / Gm 指示用 1 mA}

真 空 管　6AU6×2　6AR5×1　6×4×2

附 属 品　キャップコード（ユニバーサル形）1本　A. C 電源コード 1本

被測定管　UX. UY. UZ. Ut. OCTAL. LOCTAL. MT—7. NOVAL. SUBMINIATURE

ソケットでヒーター（フイラメント）電圧が適合する受信用真空管全部

ヒーター（フイラメント）電圧　A. C. 0.62　1.1　1.4　2　2.5　3.5　5　6.3　7.5　10　12.6　19　25　35　50　70　117V

Eg 1（コントロールグリッド）電圧
0 ～2.5 V
0 ～ 5 V
0 ～ 10 V
0 ～ 25 V
0 ～ 50 V
} 連続可変

EP（プレート）電圧　0～300V　連続可変

Eg2（スクリーングリッド）電圧　0～300V　連続可変

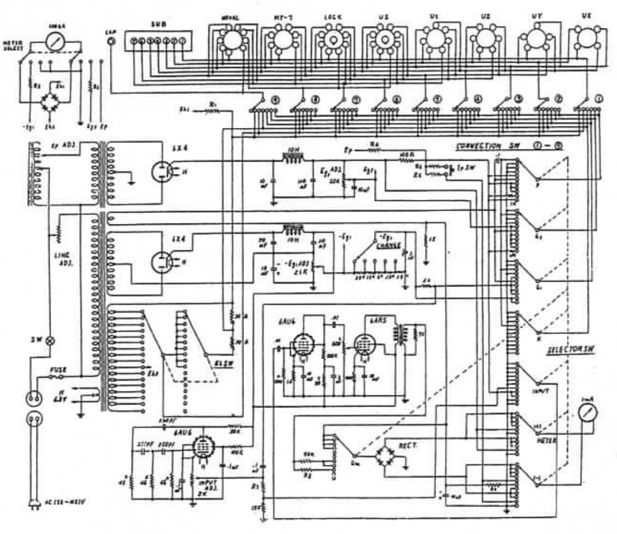
発振電圧　正弦波約 5000サイクル 0～0.3V 連続可変

測定範囲　電極ショート試験
エミッション試験
Gm 絶対値測定 {0 ～ 3000μ℧ ±10% / 3000 ～15000μ℧ ±10%}
サイラトロン動作試験
同調指示管動作試験
整流管降下電圧測定（0～300V ±2.5%）
プレート電流測定（0～100mA ±2.5%）

絶縁・耐圧

交流回路と本体間 {絶縁 500Vメガー 50MΩ以上 / 耐圧 A. C. 1000V 1分間}





SANWA RADIO MEASUREMENT WORKS

［図6］ サンワ Gm メーター SGM-19型

や組立方を注意深く観察することで，色々なことが判断できます．熔接のやり直しがあるものは全体として熔接の信頼性を疑います．

7. 真空管の動作試験

真空管の試験項目は多くの規定があります．今回は市販されていた試験器を何種かご紹介し，その詳細は次回に紹介します．

アメリカ軍用のTV–7D/Uはこの種の試験器としては多くのシリーズがあります．7D/U は最終タイプといえる有名機種（**図4**）で，軍用機器の真空管の寿命予知によって早目に真空管を交換したり故障の真空管を見つけ出すためアマチュアでも現場で使えるように工夫された丈夫な試験器です．

日本製のものはデリカ製2001です(**図5**)．新しい真空管については，製品数本をメーカーに提示すれば今でも測定チャートを作ってくれます．今時こんなに長期にわたって面倒をみてくれるメーカーはあまり知りません．

もう1台はサンワのSGM–19測定器です(**図6**)．パネルの中心部にチャートが巻き込んであり，回転して必要な部分をカーソルに含せます．終わりの方に余白がありますので，自分で書き込んで使うことができます．各電極の電圧設定ができるので便利です．これらの測定器は判断の目安として便利です．

【参考文献】

1) エスペ・クノール共著・船曳春吉譯：真空管材料学，有隣堂出版，昭和20年.
2) 浜田成徳：真空管工学，コロナ社，昭和22年.